



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

17 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 51 505 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
G 01 B 11/24
G 01 S 17/06
G 06 K 9/78

17 Aktenzeichen: 100 51 505.3
22 Anmeldetag: 17. 10. 2000
13 Offenlegungstag: 8. 5. 2002

17 Anmelder:
Astrium GmbH, 85521 Ottobrunn, DE

14 Vertreter:
Patentanwälte
HANSMANN-KLICKOW-HANSMANN, 22767
Hamburg

17 Erfinder:
Schröder, Wilfried, Dr., 27243 Harpstedt, DE;
Forgber, Ernst, Dr., 28259 Bremen, DE; Röh,
Gerhard, 28844 Weyhe, DE

55 Entgegenhaltungen:
DE 43 05 011 C2
WO 99 34 235 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

24 Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von 3D-Entfernungsbildern

37 Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von 3-D-Bildern beschrieben, die aus einem ersten und einem zweiten Teilbild sowie gegebenenfalls einem Umweltbild berechnet werden, wobei ein bildpunktauflösender optoelektronischer Sensor vorgesehen ist, der eine Mehrzahl von lichtempfindlichen Zellen aufweist, die jeweils einem Bildpunkt des 3-D-Bildes zugeordnet sind. Jeder lichtempfindlichen Zelle sind wiederum mindestens zwei Ladungsspeicher zugeordnet, in denen Ladungen der beiden Teilbilder gespeichert sind. Diese Teilbilder werden im Wesentlichen gleichzeitig und für gleiche Richtungen erzeugt, so dass das 3-D-Bild auf der Grundlage von Teilbildern mit gleicher räumlicher Konfiguration und ohne Parallaxenfehler berechnet werden kann.

DE 100 51 505 A 1

DE 100 51 505 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von 3D-Bildern.

[0002] Es sind bereits Verfahren und Vorrichtungen zum Beispiel in Form von Sensorsystemen bekannt, mit denen Entfernungsbilder auf der Grundlage einer punktwweisen Ermittlung von Entfernungen gewonnen werden, die entweder auf dem Laufzeitprinzip oder mittels Phasenmodulation eines Laserstrahls zum Beispiel mit Scannern berechnet werden. Nachteilig hierbei ist jedoch die Notwendigkeit der Verwendung von mechanisch bewegten Teilen zur Ablenkung des Laserstrahls und die sequentielle Ermittlung der einzelnen Bildpunkte eines Bildes. Letzteres führt in bewegten Szenarien dazu, dass das Entfernungsbild eine Überlagerung aller auftretenden räumlichen Konfigurationen des Zeitintervalls repräsentiert, das für die bildpunktweise Aufnahme des Entfernungsbildes benötigt wird.

[0003] Weiterhin sind Verfahren unter Verwendung von bildpunktauffösenden Detektoren wie zum Beispiel CCDs beschrieben worden.

[0004] Aus der DE 44 47 117 ist ein farbcodiertes 3D-Bilderkennungungsverfahren bekannt, bei dem die dreidimensionale Lage der Objektpunkte aus den Farbverteilungen der Objektpunkte von zwei Bildern errechnet wird, die durch Aufnahme des Objektes mit durch Lichtintensitätsmodulatoren erzeugten Lichtpulsen gewonnen werden, wobei einer der Lichtintensitätsmodulatoren bei einem Bild auf Durchlaß geschaltet ist und der andere Lichtintensitätsmodulator bei dem anderen Bild mit einer geeigneten Zeitverzögerung angesteuert wird. Auf diese Weise werden modulierte Lichtstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge auf das Objekt ausgsendend und ein einem Bilddetektor vorgeschalteter Lichtschalter oder Lichtintensitätsmodulator so betätigt, dass der dadurch jeweils erfasste momentane Modulationswert eines reflektierten Lichtstrahls eine Funktion der unterschiedlichen räumlichen Lage des beleuchteten Objektpunktes ist. Alternativ zu dem Pulsbetrieb ist auch ein kontinuierlicher periodischer Betrieb mit geeignet gewählten Phasenverschiebungen der Lichtintensitätsmodulatoren möglich.

[0005] Aus der WO 99/34235 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung bekannt, bei dem/der das Objekt zum Beispiel mit Laserdioden kurzzeitig-belichtet wird. Zur Aufnahme des Bildes dient ein Bildsensor mit hoher Lichtempfindlichkeit, der pixelaufösend und walrfrei auslesbar ist sowie eine für jedes Pixel einstellbare Integrationszeit aufweist. Durch Auswertung der zurückgestreuten Lichtimpulse in zwei Integrationsfenstern mit unterschiedlichen Integrationszeiten sowie durch Mittelung über mehrere Lichtimpulse lassen sich dreidimensionale Abstandsprofile erzeugen.

[0006] Gemeinsame Nachteile dieser Verfahren beziehungsweise Vorrichtungen bestehen darin, dass die Pixelwerte, die für die Berechnung der jeweiligen Entfernungsbildpunkte benötigt werden, vom Echo unterschiedlicher Lichtpulse abgeleitet werden und entweder in zeitlicher Abfolge erzeugt und/oder in unterschiedlichen lichtempfindlichen Zellen gewonnen werden.

[0007] Da die Messwerte zur Berechnung der Entfernungsbildpunkte (innerhalb der Entfernungsbilder) sequentiell und somit zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen werden, kann sich die räumliche Konfiguration der zu messenden Szenerie inzwischen verändert haben.

[0008] Durch den zeitlichen Versatz zwischen den Belichtungsvorgängen entsteht bei bewegter Szenerie oder bewegtem Sensor bei allen Entfernungsbildpunkten, die von der Bewegung betroffen sind, bedingt durch fehlerhafte Normierung, ein Berechnungsfehler.

[0009] Außerdem führt der höhere Bedarf an Lichtpulsen

zu einer unnötig hohen ausgestrahlten Lichtleistung, so dass sich eher Probleme mit der Augensicherheit ergeben können.

[0010] Sofern die Gewinnung der Messwerte zur Berechnung der Entfernungspixel in unterschiedlichen lichtempfindlichen Zellen eines bildpunktauffösenden Sensors erfolgt, kann auch bei unbewegter Szenerie eine fehlerhafte Normierung die Folge sein.

[0011] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von 3D-Bildern zu schaffen, die in besonders kurzen Zeitintervallen sowie mit einer wesentlich geringeren Lichtleistung aufgenommen werden können.

[0012] Weiterhin soll mit der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von 3D-Bildern geschaffen werden, mit dem/der alle Messwerte, die zur Erzeugung von Entfernungsbildpunkten benötigt werden, durch die Streuung eines einzelnen Laserpulses in besonders kurzen Zeitintervallen gewonnen werden können.

[0013] Schließlich soll mit der Erfindung auch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von 3D-Bildern geschaffen werden, bei dem/der alle Messwerte für einen Entfernungsbildpunkt in der gleichen lichtempfindlichen Zelle gewonnen werden können.

[0014] Gelöst wird diese Aufgabe gemäß Anspruch 1 mit einem Verfahren zur Erzeugung von 3D-Bildern, das sich durch folgende Schritte auszeichnet:

- Aussenden eines Lichtpulses in Richtung auf ein abzubildendes Objekt einer Szenerie;
- Registrierung eines rückgestreuten Lichtpulses innerhalb eines Zeitintervalls M, das so bemessen und zeitlich gegenüber dem Aussenden des Lichtpulses verschoben ist, dass die von dem Objekt der Szenerie zurückgestreuten Lichtpulse für jeden Bildpunkt in Abhängigkeit von ihrer Laufzeit ganz oder teilweise erfasst werden;
- Speichern der während eines ersten Teilintervalls M₁ des Zeitintervalls M erzeugten Ladungen in einem dem betreffenden Bildpunkt zugeordneten ersten Ladungsspeicher S₁, sowie der während eines zweiten Teilintervalls M₂ des Zeitintervalls M erzeugten Ladungen in einem dem betreffenden Bildpunkt zugeordneten zweiten Ladungsspeicher S₂; und
- Berechnen eines 3D-Bildes (Entfernungsbild) aus den für jeden Bildpunkt in dem ersten und zweiten Ladungsspeicher gespeicherten Ladungsdichten.

[0015] Die Aufgabe wird ferner gemäß Anspruch 4 mit einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gelöst, die sich auszeichnet durch einen optoelektronischen Sensor, der eine Mehrzahl von lichtempfindlichen Zellen aufweist, die jeweils einem Bildpunkt des zu erzeugenden 3D-Bildes zugeordnet sind und denen jeweils mindestens ein erster und ein zweiter Ladungsspeicher zum Speichern von durch die betreffende lichtempfindliche Zelle erzeugten Ladungen zugeordnet ist.

[0016] Der Erfindung liegt somit die Erkenntnis zu Grunde, dass unter Einsatz eines bildpunktauffösenden optoelektronischen Sensors, dessen einzelne Bildpunkte mit mehreren Ladungsspeichern versehen sind, eine extrem schnelle Vorrichtung zur Gewinnung von Entfernungsbildern bei gleichzeitig vollständiger Nutzung der Energie der ausgesendeten Lichtpulse geschaffen werden kann, wobei alle Messwerte zur Bestimmung des Entfernungsbildes mit einem Lichtpuls gewonnen werden können.

[0017] Ein Vorteil dieser Lösung besteht darin, dass die ausgestrahlte Lichtenergie im Interesse einer Augensicher-

heit durch deren optimale Nutzung auf ein Minimum reduziert werden kann. Außerdem sind keine mechanisch bewegten Teile erforderlich.

[0018] Ein weiterer Vorteil dieser Lösung besteht darin, dass, sofern es erforderlich ist, die Aufnahmevorgänge in kurzen Zeitabständen wiederholt werden können, so dass Mehrfachbelichtungen und Ladungsintegrationen während der Aufnahme eines Bildes möglich sind. Auch bei Mehrfachbelichtungen können keine Berechnungsfehler durch zeitliche Abfolgen entstehen, da die akkumulierten Teilsignale relativ zueinander fehlerfrei sind.

[0019] Die Unteransprüche haben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung zum Inhalt.

[0020] Danach wird insbesondere gemäß Anspruch 3 zur Korrektur des Einflusses von Störlicht auf die gewonnenen Messsignale jeder lichtempfindlichen Zelle jeweils ein dritter Ladungsspeicher zugeordnet, so dass ein Umweltbild erzeugt werden kann, das diese Störlichtanteile beinhaltet.

[0021] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform anhand der Zeichnung.

[0022] Es zeigt:

[0023] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines

[0024] prinzipiellen Aufbaus zur erfindungsgemäßen Erzeugung von 3D-Bildern;

[0025] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer ersten Speicherarchitektur eines Sensors;

[0026] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer ersten Erzeugung verschiedener Teilbilder;

[0027] Fig. 4 ein Zeitaktendiagramm;

[0028] Fig. 5 verschiedene Diagramme zur Berechnung einer normierten Größe Q als Maß für die Entfernung;

[0029] Fig. 6 eine schematische Darstellung einer zweiten Erzeugung verschiedener Teilbilder; und

[0030] Fig. 7 eine schematische Darstellung einer zweiten Speicherarchitektur eines Sensors.

[0031] Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau, mit dem erfindungsgemäß Entfernungsbilder (3D-Bilder) gewonnen werden. Von einer Lichtquelle 1 werden Lichtpulse 2 auf ein Objekt 3 (oder eine Szenerie) ausgesendet, die dort reflektiert werden. In Abhängigkeit von den Streu- und Reflektionsseigenschaften des Objektes 3 gelangt der Lichtpuls 2 mit entsprechend verminderter Intensität als gestreuter Lichtpuls 4 zurück zu einer Aufnahmekamera 5 und fällt dort durch eine Linse 6 auf einen optoelektronischen, bildpunktaufauflösenden (pixelauflösenden) Sensor 7. Die durch den Sensor erfassten Intensitätswerte werden mit einer Signalauswerteeinrichtung 8 in nachfolgend noch beschriebener Weise ausgewertet, und es wird daraus ein Entfernungsbild (3D-Bild) berechnet. Die Lichtquelle 1 ist vorzugsweise ein konstruktiver Bestandteil der Kamera 5.

[0032] Fig. 2 zeigt die prinzipielle Architektur und Organisation des pixelauflösenden optoelektronischen Sensors 7. Der Sensor umfasst für jeden Bildpunkt eine lichtempfindliche Zelle Z_{ij} , der ein erster, ein zweiter und ein dritter Ladungsspeicher S_{ijk} ($k = 1, 2, 3$) zugeordnet sind. Die lichtempfindlichen Zellen sind in Zeilen (Index i) und Spalten (Index j) entsprechend der Geometrie des zu erzeugenden 3D-Bildes angeordnet bzw. organisiert.

[0033] Der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. die Funktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur 3D-Bilderzeugung soll nun an Hand der Fig. 3 und 4 beschrieben werden.

[0034] Das Entfernungsbild (3D-Bild) wird aus zwei Teilbildern berechnet, wobei gegebenenfalls zusätzlich ein Umweltbild ermittelt und bei der Berechnung des Entfernungsbildes berücksichtigt wird.

[0035] Durch das Aussenden eines Lichtpulses 2 mit der

Länge L zum Zeitpunkt t_0 gemäß Fig. 4b durch die vorzugsweise an der Kamera 5 montierte Lichtquelle 1 in Richtung auf das Objekt 3 werden beide Teilbilder erzeugt. Der Lichtpuls wird gemäß Fig. 3a an verschiedenen Objektpunkten 10, 11, 12 des Objektes, die unterschiedliche Entfernungen r innerhalb eines Bereiches zwischen einer minimalen Entfernung r_{\min} und einer maximalen Entfernung r_{\max} von der Lichtquelle 1 aufweisen, reflektiert. Um diese unterschiedlichen Entfernungen zu erfassen, werden die zurückgestreuten Lichtpulse 4 innerhalb eines ersten Zeitintervalls $M > L$ (Fig. 4d) detektiert, d. h. die Kamera 5 wird synchron mit der Emission der Lichtpulse 2 zu einem Zeitpunkt t_1 für das erste Zeitintervall M aktiviert. Die Länge und die zeitliche Lage des ersten Intervalls M ist in vorteilhafter Weise so gewählt, dass die an den betreffenden Objektpunkten 10, 11, 12 gestreuten Lichtpulse in Abhängigkeit von ihrer Laufzeit, d. h. von der Entfernung der Objektpunkte von der Lichtquelle, innerhalb des ersten Zeitintervalls M ganz erfasst werden.

[0036] Fig. 3b zeigt das Zeitintervall M sowie zwei Teilintervalle M_1 und M_2 und schematisch die zeitliche Lage der rückgestreuten Lichtpulse. Das vom Objektpunkt 10 rückgestreute Licht wird im ersten Teilintervall M_1 vollständig erfasst. Das rückgestreute Licht des Objektpunktes 11 fällt teilweise in das erste Teilintervall M_1 und teilweise in das zweite Teilintervall M_2 , während das von dem Objektpunkt 12 rückgestreute Licht in dem ersten Teilintervall M_1 nicht mehr erfasst wird, sondern vollständig in das zweite Teilintervall M_2 fällt. Die während der Detektion entstehenden Ladungen werden in Ladungsspeichern S_{ij} des Detektors aufgefangan, wobei die in dem ersten Teilintervall M_1 erzeugten Ladungen in S_{ij1} (Fig. 4e) und die in dem zweiten Teilintervall M_2 erzeugten Ladungen in S_{ij2} (Fig. 4f) gespeichert werden. Dies bedeutet, dass der rückgestreute Lichtimpuls durch die Teilintervalle von M entsprechend seiner Laufzeit in unterschiedlichem Maße beschnitten wird und somit die Laufzeit des Lichtechos die in den Ladungsspeichern S_{ij1} , S_{ij2} aufgefangene Ladung beeinflusst. Der Detektionsvorgang kann für alle lichtempfindlichen Zellen Z_{ij} des Detektors gleichzeitig vorgenommen werden, wobei bei ausreichender Intensität nur ein einziger abgestrahlter Lichtimpuls zur Gewinnung aller erforderlichen Daten für die Berechnung des Entfernungsbildes benötigt wird.

[0037] Da nicht nur die Laufzeit des rückgestreuten Lichtes, sondern auch die im allgemeinen unterschiedlichen Streueigenschaften von Objektoberflächen die in den Teilintervallen registrierten Ladungen beeinflussen, ist eine Normierung der detektierten Echointensitäten erforderlich. Zur Normierung kann dabei die als Ladung detektierte Echointensität innerhalb eines Teilintervalls M_i oder des Gesamtintervalls M des betreffenden Detektorbildpunktes genutzt werden. Normiert man zum Beispiel die in dem Ladungsspeicher S_{ij1} aufgefangenen Ladungen q_{ij1} mit den Ladungen q_{ij2} in dem Ladungsspeicher S_{ij2} , so läßt sich für den Bildpunkt ij eine Größe gewinnen, die ein Maß für die Laufzeit des Lichtpulses darstellt und damit die Entfernung des korrespondierenden Objektpunktes zum Detektor repräsentiert.

[0038] Darüber hinaus kann man durch Zusammenfassen aller während der Teilintervalle M_1 und M_2 detektierten Ladungen für jeden Bildpunkt eine Größe gewinnen, die für alle Objekte in dem Messintervall unabhängig von der Laufzeit des Lichtimpulses ist und damit als Grauwertbildpunkt dienen kann.

[0039] Wenn das darzustellende Objekt einem intensiven Störlicht wie zum Beispiel Sonnenlicht ausgesetzt ist, ist es weiterhin vorteilhaft oder in Abhängigkeit von den Intensitätsverhältnissen zwischen Lichtpuls und Störlicht erforder-

lich, ein Umweltbild zu erzeugen, das diese Störlichtanteile (Fig. 4a) beinhaltet und zur Korrektur der Teilbilder herangezogen wird. Zu diesem Zweck wird während eines zweiten Zeitintervalls K gemäß Fig. 4c zu jedem Bildpunkt das Umweltlicht detektiert, das heißt es werden die während des zweiten Zeitintervalls K in jeder lichtempfindlichen Zelle Z_j erzeugten Ladungen in dem der betreffenden Zelle zugeordneten dritten Ladungsspeicher S_{j3} gespeichert.

[0040] Das Zeitintervall K für die Gewinnung des Umweltlichtbildes wird vorteilhaft so gewählt, das Streulichtanteil des Lichtpulses von Objekten außerhalb der betrachteten Szenerie keinen oder nur einen vernachlässigbar geringen Einfluß haben und möglichst zeitnah zum Intervall M liegen, um eine möglichst exakte Repräsentation der zu dieser Zeit geltenden Umweltlichtbedingungen zu gewährleisten. Vorzugsweise wird das Zeitintervall K unmittelbar vor die Emission des Lichtpulses gelegt (Fig. 4c).

[0041] Bei ausreichender Intensität des Lichtpulses wird mit einem Lichtpuls in einem Zeitintervall von zum Beispiel 50 ns die gesamte Informationsmenge für ein Entfernungsbild gewonnen. Dies bedeutet, dass das erfindungsgemäße Verfahren beziehungsweise eine entsprechende Vorrichtung auch zur Aufnahme von sehr schnellen Vorgänge geeignet ist.

[0042] Zur Verbesserung des Signal-/Rauschverhältnisses besteht bei geeigneter Architektur des optoelektronischen Sensors die Möglichkeit, diesen Vorgang mehrfach zu wiederholen und die durch mehrere Lichtpulse erzeugten Ladungen in den Ladungsspeichern der lichtempfindlichen Zellen zu akkumulieren. Beispielsweise ist es möglich, bei der Benutzung von Laserdioden mit einem Schaltverhältnis (duty cycle) von 1% als Lichtquelle, einer Pulslänge von 10 ns und einer Bildfrequenz von 100 Hz, die Ladungen von 10000 Lichtimpulsen zu akkumulieren. Der exakte Wert hängt dabei von der Auslesezeit des optoelektronischen Sensors ab.

[0043] Aus den jeweiligen ersten bis dritten Ladungsspeichern jeder lichtempfindlichen Zelle wird dann jeder Bildpunkt des Entfernungsbildes berechnet.

[0044] Fig. 5 zeigt zwei mögliche Arten der Berechnung einer Größe Q aus den Inhalten q_{j1} der Ladungsspeicher s die monoton von der Entfernung des jeweiligen Objektpunktes abhängig ist. In Fig. 5a und 5b sind die in den Teilintervallen M_1 und M_2 registrierten Ladungen und die in den Ladungsspeichern S_{j1} , S_{j2} aufgefundenen Ladungen q_{j1} , q_{j2} in Abhängigkeit von der Entfernung des Objektpunktes dargestellt. Fig. 5c zeigt die Ladung q_{j3} , die während des Intervalls K im Ladungsspeicher S_{j3} aufgefunden wird. In dem Intervall K trifft kein Echo des eingestrahelten Lichtimpulses ein, sondern es wird nur Umgebungslicht registriert.

[0045] Als Beispiel für die Kompensation des Umgebungslichtes, die Normierung auf die Streueigenschaften des Objektes und die eingestrahle Lichtintensität zur Gewinnung der Größe Q können folgende Gleichungen I und II dienen:

$$[G1. I]: Q_1 = (q_{j1} - q_{j3}(t_2 - t_1)/(t_5 - t_4)) / (q_{j2} - q_{j3}(t_3 - t_2)/(t_5 - t_4)) \text{ und}$$

$$[G1. II]: Q_2 = (q_{j2} - q_{j3}(t_3 - t_2)/(t_5 - t_4)) / q_{j1} + q_{j2} - q_{j3}(t_3 - t_1)/(t_5 - t_4)$$

[0046] In den Fig. 5d und 5e sind die Verläufe der Funktionen $Q_1(z)$ und $Q_2(z)$ schematisch dargestellt. Andere Arten der Normierung durch Vertauschen der Rollen von q_{j1} und q_{j2} oder durch Bildung von $1/Q_1$ bzw. $1/Q_2$ führen ebenfalls auf monotone Funktionen, die zur Entfernungsbestimmung verwendet werden können.

[0047] Um aus der normierten Größe Q auf die Entfernung z zu schließen, ist die Umkehrfunktion von $Q(z)$ anzuwenden, was zum Beispiel über eine Nachschlage-Tabellen-

operation erfolgen kann. Das von der Entfernung unabhängige Graubild kann aus der Summe der Ladungen q_{j1} und q_{j2} für jeden Bildpunkt berechnet werden.

[0048] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Messintervall in mehr als zwei Teilintervalle zerlegt und damit korrespondierend jede lichtempfindliche Zelle des Sensors mit einer entsprechenden Anzahl von Speichern versehen. Bei einer vorteilhaften Wahl der Länge der Teilintervalle und einer gegebenen Größe der Ladungsspeicher läßt sich dadurch zum Beispiel die Dynamik des Verfahrens erhöhen. Fig. 3c zeigt dazu schematisch den Abfall der rückgetretenen Identität mit zunehmender Entfernung der Objektpunkte 10, 11, 12 sowie eine beispielhafte Aufteilung des Messintervalls in drei Teilintervalle M_1 , M_2 und M_3 . Die Ermittlung der Entfernungsbilder kann dann beispielsweise völlig analog zu dem in Gleichung (1) oder Gleichung (2) aufgezeigten Verfahren erfolgen, wenn $q_{j1} = q_{j1} + q_{j2}$ gesetzt wird gesetzt wird und q_{j1} und q_{j2} die in den Intervallen M_1 und M_2 akkumulierten Ladungen repräsentieren.

[0049] Ein anderes Verfahren bei der Bestimmung von Entfernungsbildern wird insbesondere dann interessant, wenn das Intervall M in eine größere Anzahl von Teilintervallen zerlegt wird. Ein Objekt II (Fig. 6a), das durch einen Lichtpuls 2 beleuchtet wird, erzeugt den rückgestreuten Lichtpuls 4, der während des Intervalls M von jeder lichtempfindlichen Zelle Z_j detektiert wird und in den n Teilintervallen $M_1 - M_n$ (Fig. 6b) je nach Ankunftszeit am Detektor entweder Ladungen oder keine Ladungen erzeugt. Die während jedes Teilintervalls gewonnenen Ladungen werden in die zugehörigen Ladungsspeicher S_{j1} der lichtempfindlichen Zelle Z_j transferiert. Fig. 7 zeigt schematisch die Architektur des entsprechenden Sensors.

[0050] Für die Ermittlung eines Entfernungsbildpunktes wird geprüft, ob die Speicherinhalte einen Schwellwert überschreiten und somit ein Signal vorliegt. Sofern dies der Fall ist, wird allen solchen Speichern der Wert 1 und allen anderen Speichern der Wert 0 zugeordnet. Aus der bekannten Dauer der Teilintervalle und dem Phasenbezug zur Emission des Lichtpulses läßt sich dann die Entfernung für jeden Bildpunkt bestimmen, indem der erste Speicher eines jeden Bildpunktes bestimmt wird, dessen Inhalt den Schwellwert überschreitet (Fig. 7). Der Schwellwert kann beispielsweise für alle Bildpunkte auf einen konstanten Wert festgelegt oder für jeden Bildpunkt dynamisch an die Szenerie angepaßt werden.

[0051] Für konstante Dauer der Teilintervalle $M_1 - M_n$ ergibt sich die Entfernung für jeden Entfernungsbildpunkt E_j zu:

$$z(E_j) = z_0 + z'k'$$

wobei $z(E_j)$ die Entfernung im Bildpunkt E_j , k' den Index des ersten Speichers der korrespondierenden lichtempfindlichen Zelle, deren Signal oberhalb des Schwellwertes liegt und z' die zur Dauer der Teilintervalle gebundene Entfernungsänderung darstellt.

[0052] Zusammengefaßt ergeben sich mit dieser Ausführungsform der Erfindung folgende Vorteile:

Das mit den Lichtpuls erzeugte Licht wird vollständig genutzt. Weiterhin werden die drei oben genannten Bildtypen jeweils am gleichen Ort, das heißt an jeweils gleichen Bildpunkten des optoelektronischen Sensors gewonnen, so dass die Bildpunkte des Entfernungsbildes aus Ladungsdichten berechnet werden, die identische Objektpunkte repräsentieren bzw. abbilden und keine Parallaxenfehler auftreten. Da sich die drei genannten Bildtypen im wesentlichen gleichzeitig, das heißt aus einem einzigen eingestrahelten Licht-

puls gewinnen lassen, beziehen sich die jeweiligen Ladungen auch auf identische räumliche Konfigurationen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von 3D-Bildern, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Aussenden eines Lichtpulses (L) in Richtung auf ein abzubildendes Objekt (3) einer Szenerie;
- Registrierung eines rückgestreuten Lichtpulses innerhalb eines Zeitintervalls (M), das so bemessen und zeitlich gegenüber dem Aussenden des Lichtpulses verschoben ist, dass die von dem Objekt der Szenerie zurückgestreuten Lichtpulse für jeden Bildpunkt in Abhängigkeit von ihrer Laufzeit ganz oder teilweise erfasst werden;
- Speichern der während eines ersten Teilintervalls (M_1) des Zeitintervalls (M) erzeugten Ladungen in einem dem betreffenden Bildpunkt zugeordneten ersten Leitungsspeicher (S_1), sowie der während eines zweiten Teilintervalls (M_2) des Zeitintervalls (M) erzeugten Ladungen in einem dem betreffenden Bildpunkt zugeordneten zweiten Ladungsspeicher (S_2); und
- Berechnen eines 3D-Bildes (Entfernungsbild) aus den für jeden Bildpunkt in dem ersten und zweiten Ladungsspeicher gespeicherten Ladungsdichten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das die während des ersten und zweiten Teilintervalls erzeugten Ladungen im wesentlichen gleichzeitig gespeichert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgenden Schritt:

- Aufnehmen eines Umweltbildes durch Erfassen von von dem Objekt innerhalb eines zweiten Zeitintervalls (K) vor dem Aussenden des Lichtpulses (L) ausgehenden Lichtes für jeden Bildpunkt und Speichern einer dadurch erzeugten Ladungsdichte in einem dem betreffenden Bildpunkt (ij) zugeordneten dritten Ladungsspeicher (S_{ij3}), zur Kompensation von Störlicht bei der Berechnung des 3D-Bildes.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch: einen optoelektronischen Sensor, der eine Mehrzahl von lichtempfindlichen Zellen (Z_{ij}) aufweist, die jeweils einem Bildpunkt des zu erzeugenden 3D-Bildes zugeordnet sind, wobei den Zellen jeweils mindestens ein erster und ein zweiter Ladungsspeicher (S_{ij1} , S_{ij2}) zum Speichern von durch die betreffende lichtempfindliche Zelle erzeugten Ladungen zugeordnet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, dass jeder lichtempfindlichen Zelle (Z_{ij}) ein dritter Ladungsspeicher (S_{ij3}) zum Erfassen von durch ein Umweltbild erzeugten Ladungen zugeordnet ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

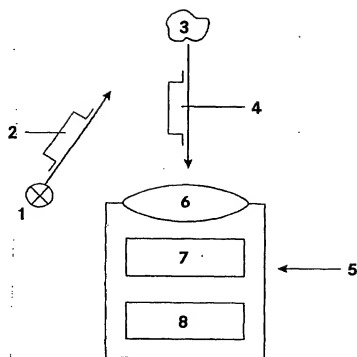


FIG. 1

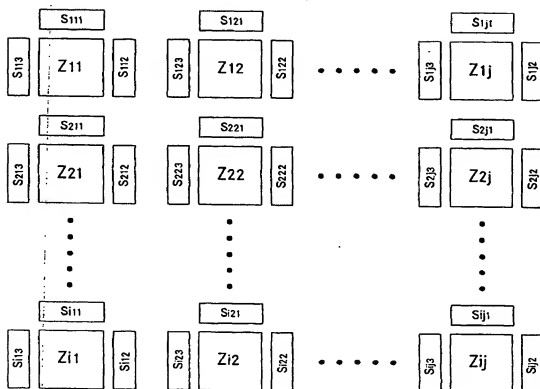


FIG. 2

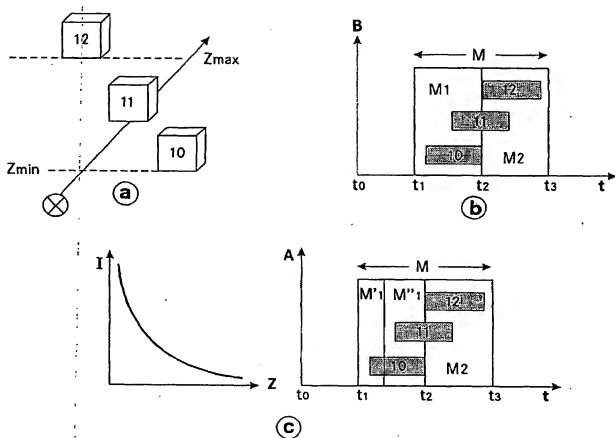


Fig. 3

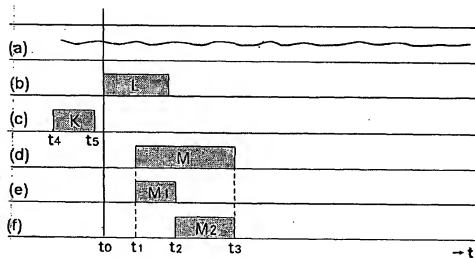


Fig. 4

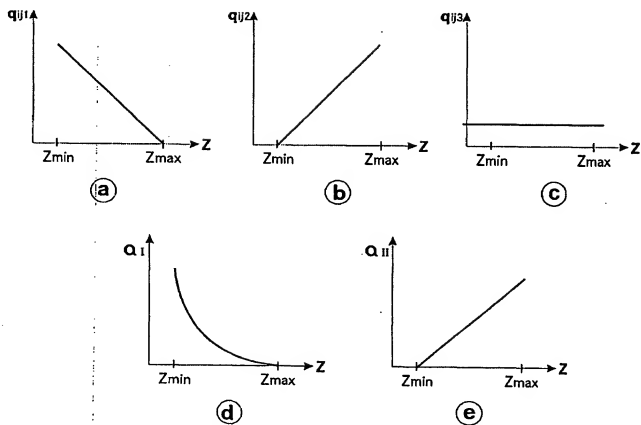


FIG. 5

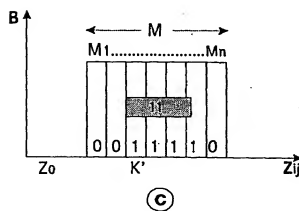
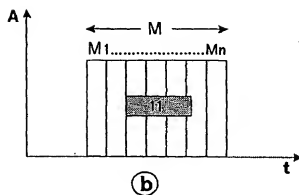
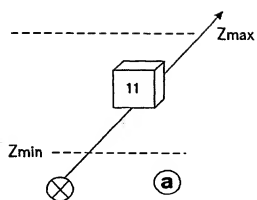


FIG. 6

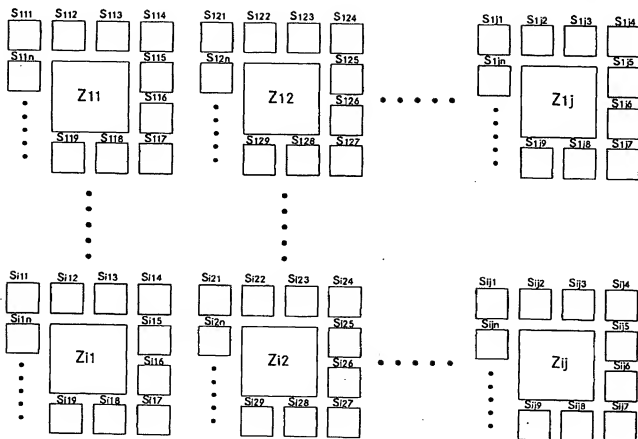


FIG. 7